



①⑨ BUNDESREPUBLIK  
DEUTSCHLAND



DEUTSCHES  
PATENT- UND  
MARKENAMT

①② **Offenlegungsschrift**  
①⑩ **DE 199 21 456 A 1**

⑤① Int. Cl. 7:  
**F 02 D 41/30**  
F 02 M 51/06  
H 02 N 2/06

②① Aktenzeichen: 199 21 456.5  
②② Anmeldetag: 8. 5. 1999  
②③ Offenlegungstag: 16. 11. 2000

DE 199 21 456 A 1

⑦① Anmelder:  
Robert Bosch GmbH, 70469 Stuttgart, DE  
  
⑦④ Vertreter:  
Dreiss, Fuhlendorf, Steimle & Becker, 70188  
Stuttgart

⑦② Erfinder:  
Reischl, Rolf, 70499 Stuttgart, DE; Ruehle,  
Wolfgang, 71254 Ditzingen, DE; Keim, Norbert,  
74369 Löchgau, DE

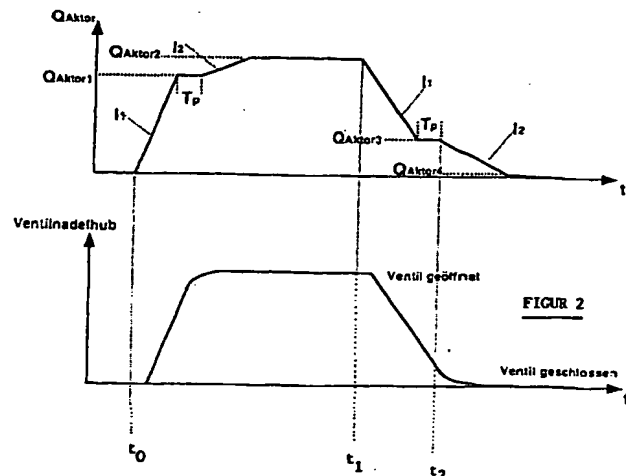
⑤⑤ Entgegenhaltungen:  
DE 197 33 560 A1  
DE 196 36 088 A1

Die folgenden Angaben sind den vom Anmelder eingereichten Unterlagen entnommen

Prüfungsantrag gem. § 44 PatG ist gestellt

⑤④ Verfahren und Vorrichtung zur Ansteuerung eines piezoelektrischen Aktors

⑤⑦ Die Erfindung betrifft ein Verfahren und eine Vorrichtung, mit der Überschwingen und Prellen eines mit einem piezoelektrischen Aktor ausgestatteten Hochdruckeinspritzventils vermieden werden. Eine Schaltungsanordnung zur Ansteuerung des piezoelektrischen Aktors ist so gestaltet, daß sie den Aktor zunächst nur über einen Teilhub ( $Q_{Aktor1}$ ) mit einer maximalen Steigung ( $I_1$ ) umlädt und nach einer Pause mit einer anderen Steigung ( $I_2$ ) zum Erreichen des endgültigen Hubs ( $Q_{Aktor2}$ ) lädt. Dabei ist die Restladephase ( $Q_{Aktor1} T_p, dQ_{Aktor}/dt_2, Q_{Aktor2}$ ), ( $Q_{Aktor3} T_p, dQ_{Aktor}/dt_2, Q_{Aktor4}$ ) so gewählt, daß für das mechanische System aus Aktor-Ventilnadel-Hydraulik ein aperiodischer Übergang zum Endwert angenähert wird.



FIGUR 2

DE 199 21 456 A 1

## Beschreibung

## Stand der Technik

Die Erfindung befaßt sich mit einem Verfahren zur Ansteuerung eines piezoelektrischen Aktors, wie er insbesondere in einem Hochdruckeinspritzventil eines Kraftfahrzeugeinspritzsystems eingesetzt ist, und mit einer Schaltungsanordnung zur Durchführung dieses Verfahrens.

Ein derartiges Verfahren ist aus DE 197 33 560 A1 bekannt.

Piezoelektrische Aktoren lassen sich besonders vorteilhaft als Aktoren für Einspritzventile in Kraftfahrzeugen einsetzen, da sie bekanntermaßen die Eigenschaft aufweisen, sich in Abhängigkeit von einer daran angelegten Spannung zusammenzuziehen oder auszudehnen. Der Vorteil ist insbesondere dort ausgeprägt, wenn ein solches Einspritzventil, wie im Kraftfahrzeug, schnelle oder häufige Bewegungen auszuführen hat. Allgemein sind piezoelektrische Elemente kapazitive Verbraucher, die sich entsprechend dem jeweiligen Ladungszustand bzw. der sich daran einstellenden oder angelegten Spannung zusammenziehen und ausdehnen.

Bei einem mit einem piezoelektrischen Aktor ausgerüsteten Kraftstoffeinspritzventil kann es, vor allem, wenn eine zeitlich variierende Lade- und Entladegeschwindigkeit auftritt, zu mehr oder weniger stark ausgeprägten Einschwingvorgängen kommen.

Bei dem in der oben erwähnten DE 197 33 560 A1 beschriebenen piezoelektrischen Aktor wird ein im Lade-Stromkreis desselben vorgesehener Schalter bzw. ein im Entladestromkreis vorgesehener Schalter während des Ladens bzw. Entladens wiederholt derart betätigt, daß das piezoelektrische Aktorelement durch einen vorgegebenen mittleren Lade- bzw. Entladestrom auf eine vorgegebene Spannung gebracht wird. Dabei wird durch das wiederholte Öffnen und Schließen des jeweiligen Schalters ein getaktetes Laden bzw. Entladen durchgeführt.

Bei kürzlich entwickelten mit piezoelektrischem Aktor ausgerüsteten Hochdruckeinspritzventilen für die Benzindirekteinspritzung im Kraftfahrzeug soll bei kurzen Einspritzzeiten eine gute Reproduzierbarkeit und Linearität der Einspritzmenge über der Ventilöffnungszeit (nachstehend abgekürzt DFR) sichergestellt werden. Das Problem dabei ist jedoch, daß, je kürzer die Öffnungszeit eines solchen Hochdruckeinspritzventils wird, der DFR beim Öffnen durch das Überspringen einer stark beschleunigten Ventilmadel wieder verschlechtert wird. Darüberhinaus führt das Prellen zu einem erhöhten Verschleiß der Anschlagpartner. Umgekehrt kann es beim Schließen eines schnellen Hochdruckeinspritzventils zum Abprallen der Ventilmadel am Ventilsitz kommen, was wiederum den DFR verschlechtert und die Ventilmadel und den Ventilsitz unnötig verschleißt.

In magnetisch betriebenen Hochdruckeinspritzventilen wird die Schwingungsdämpfung, Prellervermeidung und der Verschleißschutz mit mechanischen Konstruktionen gelöst.

In der beiliegenden Fig. 1 sind in Form zweier Zeitdiagramme die zeitlichen Abläufe an einem mit einem piezoelektrischen Aktor ausgerüsteten und bekannten Hochdruckeinspritzventil verdeutlicht.

Das obere Zeitdiagramm zeigt, daß der bekannte piezoelektrische Aktor vom Zeitpunkt  $t_0$  an mit einer einzigen Ladung (Hub)  $Q_{Aktor1}$ , mit einer der Steigung im Diagramm entsprechenden Stromstärke  $I_1$  zum Öffnen des Ventils umgeladen wird. Dabei tritt am Ende dieses Ladevorgangs mit  $Q_{Aktor1}$  ein starkes Überspringen auf, wodurch, wie mit A im unteren Teil der Fig. 1 angedeutet ist, eine Schwingung der Ventilmadel im geöffneten Zustand verursacht wird.

Nach einer bestimmten Ventilöffnungszeit wird der piezoelektrische Aktor zum Schließen des Hochdruckeinspritzventils mit derselben Ladung (Hub)  $Q_{Aktor1}$  und in entgegengesetzter Richtung mit der negativen Steigung  $I_1$  umgeladen. Das Ventil schließt plötzlich, wobei es zum Prellen der Ventilmadel am Ventilsitz kommt ( $\beta$ ).

## Aufgabe und Vorteile der Erfindung

Es ist Aufgabe der Erfindung, ein Verfahren und eine Ansteuervorrichtung zur Ansteuerung eines piezoelektrischen Aktors, der insbesondere in einem Hochdruckeinspritzventil eines Kraftfahrzeugeinspritzsystems eingesetzt ist, zu ermöglichen, wobei eine Schwingungsdämpfung, die Überschwinger beim Öffnen des Ventils, und dadurch den schädlichen Einfluß auf den DFR und Verschleiß vermeidet, und außerdem ein weiches Schließen des Einspritzventils erreicht werden sollen, um dadurch ein Prellen des Ventili-glieds am Ventilsitz und den damit einhergehenden Verschleiß zu vermeiden.

Diese Aufgabe wird anspruchsgemäß gelöst.

Die Erfindung benutzt die Möglichkeiten eines piezoelektrischen Aktors zur zeitabhängigen Kraft-Wegesteuerung, da der Weg und die Kraft eines solchen Piezoaktors linear mit der aufgebrachten Ladung steigt.

Erfindungsgemäß wird der Aktor beim Öffnen und Schließen des Ventils nur über einen Teilhub mit maximaler Steigung  $I_1$  umgeladen. Nach einer Pause wird mit einem weiteren Hub und einer anderen Steigung  $I_2$ , die kleiner ist als die erste maximale Steigung  $I_1$ , der endgültige Hub erreicht.

Die Restladephase wird so gewählt, daß für das mechanische System, d. h. Aktor-Ventilmadel-Hydraulik ein aperi-odischer Übergang zum Endwert angenähert wird.

Zur Durchführung dieses Ansteuerverfahrens wird eine Steuerschaltung für die Aktorendstufe so ausgelegt, daß die Teilhübe, die Steigungen  $I_1$  und  $I_2$  und die Pausendauer entsprechend den mechanischen Schwingungseigenschaften des Systems Aktor-Ventilmadel-Hydraulik appliziert und adaptiert werden können.

Durch den Einsatz der oben beschriebenen schwingungsdämpfenden elektrischen Ansteuerung werden kostenintensive mechanische Dämpfungsmaßnahmen vermieden.

Ein weiterer Vorteil ist darin zu sehen, daß die Kennwerte der Schwingungsdämpfung bei einer Änderung meßbarer Systemparameter (z. B. Druck im Rail eines Common-Rail-Einspritzsystems) während des Betriebs angepaßt werden können, indem die von der Ansteuerschaltung in der Endstufe zum Öffnen und Schließen des Ventils an den piezoelektrischen Aktor jeweils zugeführten Stromstärken und deren Dauer während des Betriebs verändert werden.

Nachstehend wird anhand der Zeichnung ein bevorzugtes Ausführungsbeispiel des erfindungsgemäßen Ansteuerverfahrens am Beispiel eines mit einem piezoelektrischen Aktor ausgestatteten Hochdruckeinspritzventils beschrieben. Es ist jedoch zu bemerken, daß das erfindungsgemäße Ansteuerverfahren nicht nur bei der Ansteuerung eines in einem Hochdruckeinspritzventil eingesetzten piezoelektrischen Aktors sondern allgemein zum schnellen und sicheren Schalten von piezoelektrischen Aktoren anwendbar ist.

## Zeichnung

Fig. 1 zeigt in Form zweier Zeitdiagramme die bereits beschriebenen zeitlichen Abläufe beim Öffnen und Schließen eines Hochdruckeinspritzventils, welches mit Überspringen und mit Prellen am Ventilsitz behaftet ist, und die einem piezoelektrischen Aktor dabei erteilten Hübe.

Fig. 2 zeigt ebenfalls in Form zweier Zeitdiagramme das mit dem erfindungsgemäßen Verfahren bei der Ansteuerung des beispielhaft im Hochdruckeinspritzventil eingesetzten piezoelektrischen Aktors erzielte Verhalten und die davon abhängigen Ventilhube ohne Überspringen und Prellen.

Fig. 3 zeigt eine zur Durchführung des Verfahrens realisierte Schaltungsanordnung, d. h. eine Ansteuerschaltung mit Aktorendstufe.

Fig. 4 zeigt die durch den piezoelektrischen Aktor fließenden Istströme bezogen auf das im oberen Teil der Fig. 2 gezeigte Zeitdiagramm.

#### Ausführungsbeispiel

In der oberen Hälfte der Fig. 2 ist in Form eines Zeitdiagramms die dem erfindungsgemäßen Verfahren entsprechende Funktion bei der Ansteuerung eines beispielhaft in einem Hochdruckeinspritzventil im Kraftfahrzeugeinspritzsystem eingesetzten piezoelektrischen Aktors dargestellt.

Beginnend mit dem Zeitpunkt  $t_0$  wird der (nicht gezeigte) Aktor nur über einen Teilhub  $Q_{Aktor1}$  mit der maximalen Steigung  $I_1 = dQ_{Aktor1}/dt_1$  umgeladen. Der Weg und die Kraft des Aktors entspricht danach der aufgebrauchten Ladung  $Q_{Aktor1}$ . Nach einer Pause der Zeitdauer  $T_P$  erfolgt zum endgültigen Öffnen des Ventils ein weiterer Teilhub mit einer geringeren Umladesteigung  $I_2 = dQ_{Aktor2}/dt_2$ , bis der endgültige Hub  $Q_{Aktor2}$  beim Öffnen des Ventils erreicht ist.

Nach einer bestimmten Zeit, d. h. zum Zeitpunkt  $t_1$ , beginnt erneut eine Umladung zum Schließen des Ventils zunächst mit dem Hub  $Q_{Aktor3}$  mit der der Stromstärke entsprechenden Steigung  $I_1$ . Dann folgt eine Pause der Dauer  $T_P$  vom Zeitpunkt  $t_2$  am Ende der Pause  $T_P$  beginnt die restliche Umladung mit  $Q_{Aktor4}$  und der geringeren Steigung  $I_2$ , bis das Ventil geschlossen ist.

Die Restladephase ( $Q_{Aktor1} T_P dQ_{Aktor}/dt_2, Q_{Aktor2}$ ), ( $Q_{Aktor3} T_P dQ_{Aktor}/dt_2, Q_{Aktor4}$ ) wird demnach so gewählt, daß für das mechanische System: Aktor-Ventilnadel-Hydraulik ein aperiodischer Übergang zum Endwert angenähert wird, wie dies in dem im unteren Teil der Fig. 2 dargestellten Zeitdiagramm für den erreichten Ventilnadelhub veranschaulicht ist.

Zur Realisierung dieses Verfahrens ist erfindungsgemäß eine in Fig. 3 als Blockschaltbild dargestellte Schaltungsanordnung, d. h. eine Ansteuerschaltung für die Aktorendstufe so ausgelegt, daß die Hube  $Q_{Aktor1}$  und  $Q_{Aktor2}$ , die den Steigungen entsprechenden Stromstärken  $I_1 = dQ_{Aktor1}/dt_1$  und  $I_2 = dQ_{Aktor2}/dt_2$  und die Pausendauer  $T_P$  entsprechen den mechanischen Schwingeigenschaften des Systems: Aktor-Ventilnadel-Hydrauliksystems appliziert und adaptiert werden können.

Die am Messwiderstand  $R_{mess}$ , der in Reihe zum piezoelektrischen Aktor liegt, gemessenen Istströme und die am Spannungsmessteiler abfallenden Istspannungen werden jeweils in Zweipunktreglern mit von einem Mikrocomputer  $\mu C$  ermittelten Sollwerten verglichen und die daraus sich ergebenden Differenzsignale einer Endstufenlogik zugeführt, welche die erfindungsgemäße Ladezeiten festlegt und entsprechende Signale Treibergliedern der Endstufe zuführt.

Fig. 4 zeigt die mit dem erfindungsgemäßen Verfahren realisierten, durch den piezoelektrischen Aktor strömenden Istströme im Vergleich mit dem im oberen Teil der Fig. 2 gezeigten, die Sollströme über die Steigungen  $I_1, I_2$  veranschaulichenden Zeitdiagramm.

ventil eines Kraftfahrzeugeinspritzsystems eingesetzten piezoelektrischen Aktors mit einer den piezoelektrischen Aktor zum Öffnen und Schließen des Ventils in mehreren Zeitintervallen ladenden bzw. entladenden Ansteuerschaltung, dadurch gekennzeichnet,

daß beim Öffnen und Schließen des Ventils der piezoelektrische Aktor anfänglich mit einer ersten Teilladung ( $Q_{Aktor1}$ ) mit einer maximalen Steigung ( $I_1 = dQ_{Aktor1}/dt_1$ ) umgeladen wird,

daß der piezoelektrische Aktor nach einer darauffolgenden Pause ( $T_P$ ) in derselben Richtung mit einer zweiten Teilladung auf den endgültigen Hub ( $Q_{Aktor2}$ ) geladen wird, wobei die Steigung ( $I_2 = dQ_{Aktor2}/dt_2$ ) für die zweite Teilladung kleiner sein kann als die maximale Steigung ( $I_1$ ) des ersten Teilhubs, so daß beim Öffnen bzw. Schließen des Ventils kein Überspringer auftritt, und

daß die Restladephase ( $Q_{Aktor1} T_P dQ_{Aktor}/dt_2, Q_{Aktor2}$ ), ( $Q_{Aktor3} T_P dQ_{Aktor}/dt_2, Q_{Aktor4}$ ) so gewählt ist, daß für das mechanische System (Aktor, Ventilglied, Hydraulik) ein aperiodischer Übergang zum Endwert angenähert wird.

2. Verfahren nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, daß die der maximalen Steigung entsprechende Stromstärke ( $I_1$ ) so gewählt wird, daß der für den Anschlag relevante Strom ( $I_2$ ) nicht erreicht wird.

3. Verfahren nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, daß die Pausendauer ( $T_P$ ) zum Öffnen und Schließen des Ventils jeweils unterschiedlich gewählt ist.

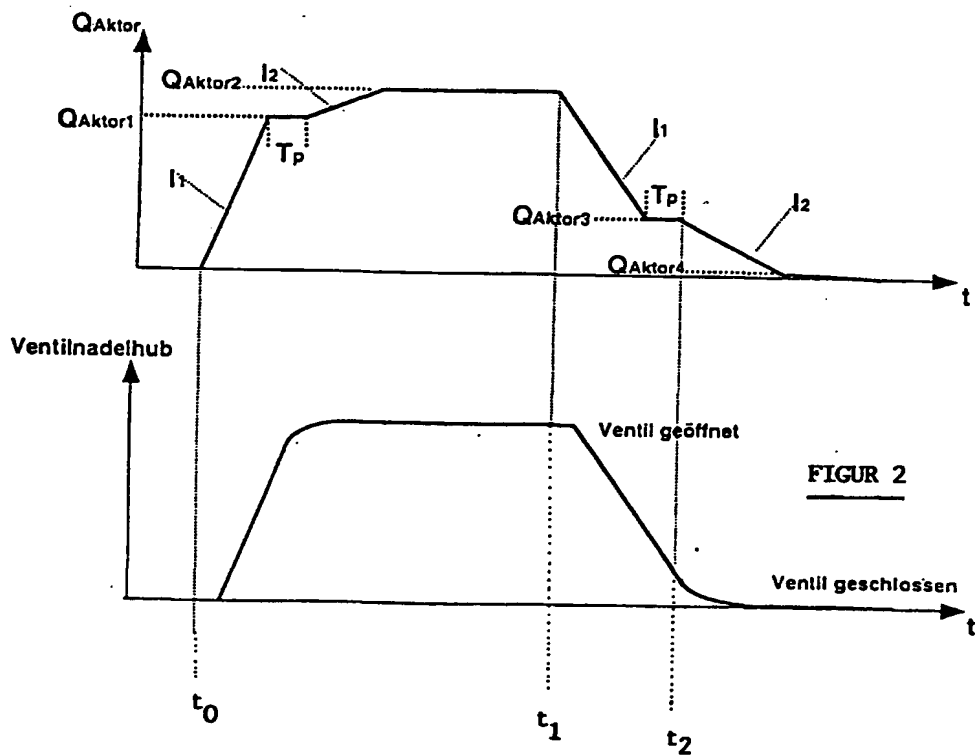
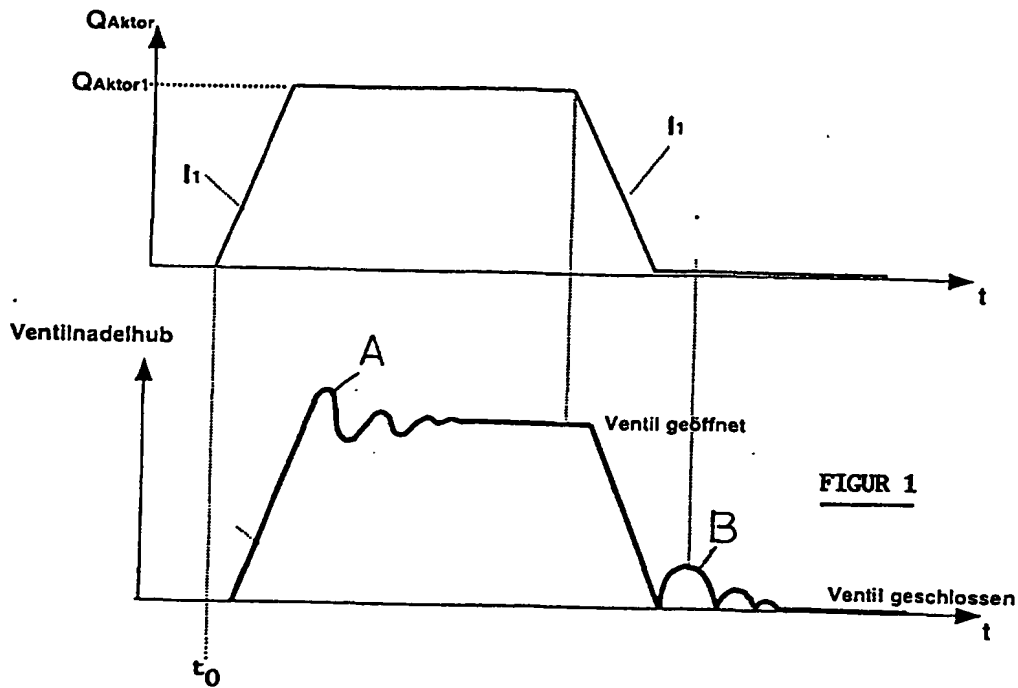
4. Verfahren nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, daß die Pausendauer ( $T_P$ ) im Grenzfall Null ist.

5. Verfahren nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, daß die mechanischen Schwingeigenschaften des Aktor-Ventilglied-Hydrauliksystems ermittelt und entsprechend dieser ermittelten Systemparameter die Größen und Steigungen für die Aktorhube angepaßt werden.

6. Schaltungsanordnung zur Durchführung des Verfahrens nach einem der Ansprüche 1 bis 5, dadurch gekennzeichnet, daß die Steuerschaltung für die Endstufe eines piezoelektrischen Aktors für ein Einspritzventil eines Kraftfahrzeugeinspritzsystems so ausgelegt ist, daß die zum Öffnen und Schließen des Ventils vom piezoelektrischen Aktor ausgeübten Teilhube ( $Q_{Aktor1}, Q_{Aktor2}, Q_{Aktor3}, Q_{Aktor4}$ ), die den Steigungen entsprechenden Stromstärken ( $I_1 = dQ_{Aktor1}/dt_1$  und  $I_2 = dQ_{Aktor2}/dt_2$ ) und die Pause ( $T_P$ ) entsprechend den mechanischen Schwingeigenschaften des Systems: Aktor-Ventilglied-Hydraulik appliziert und adaptiert werden.

Hierzu 2 Seite(n) Zeichnungen

- Leerseite -



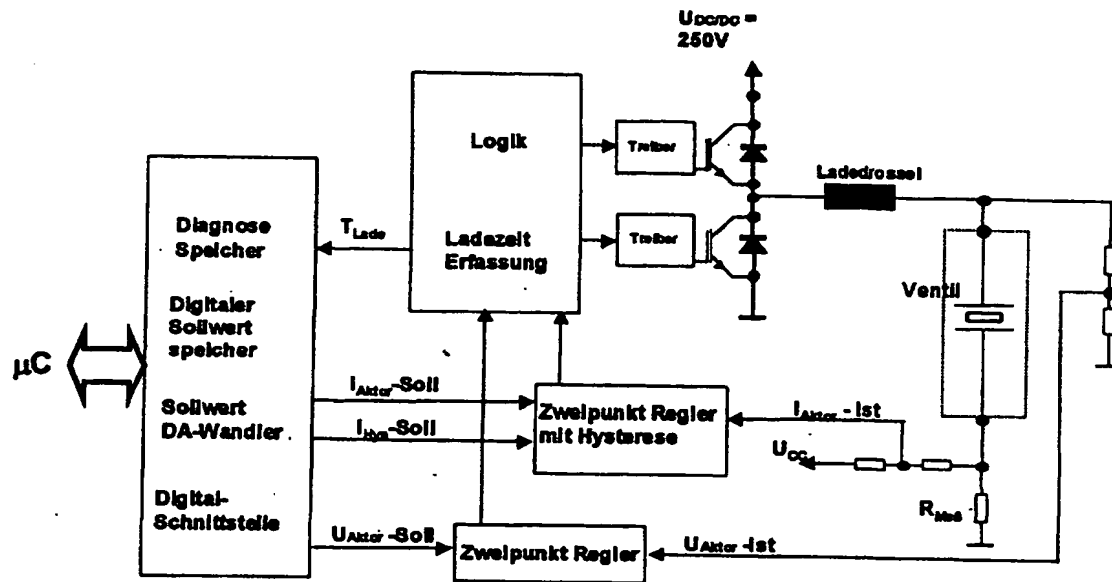


FIG. 3

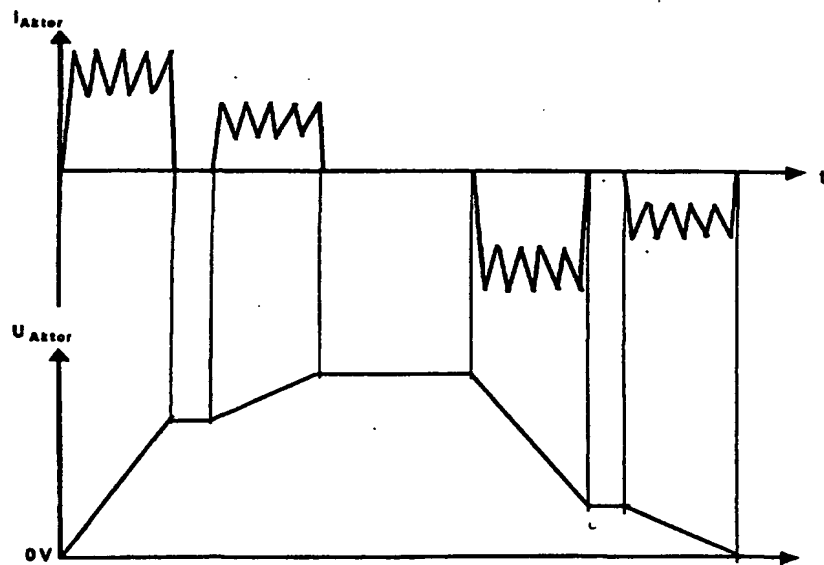
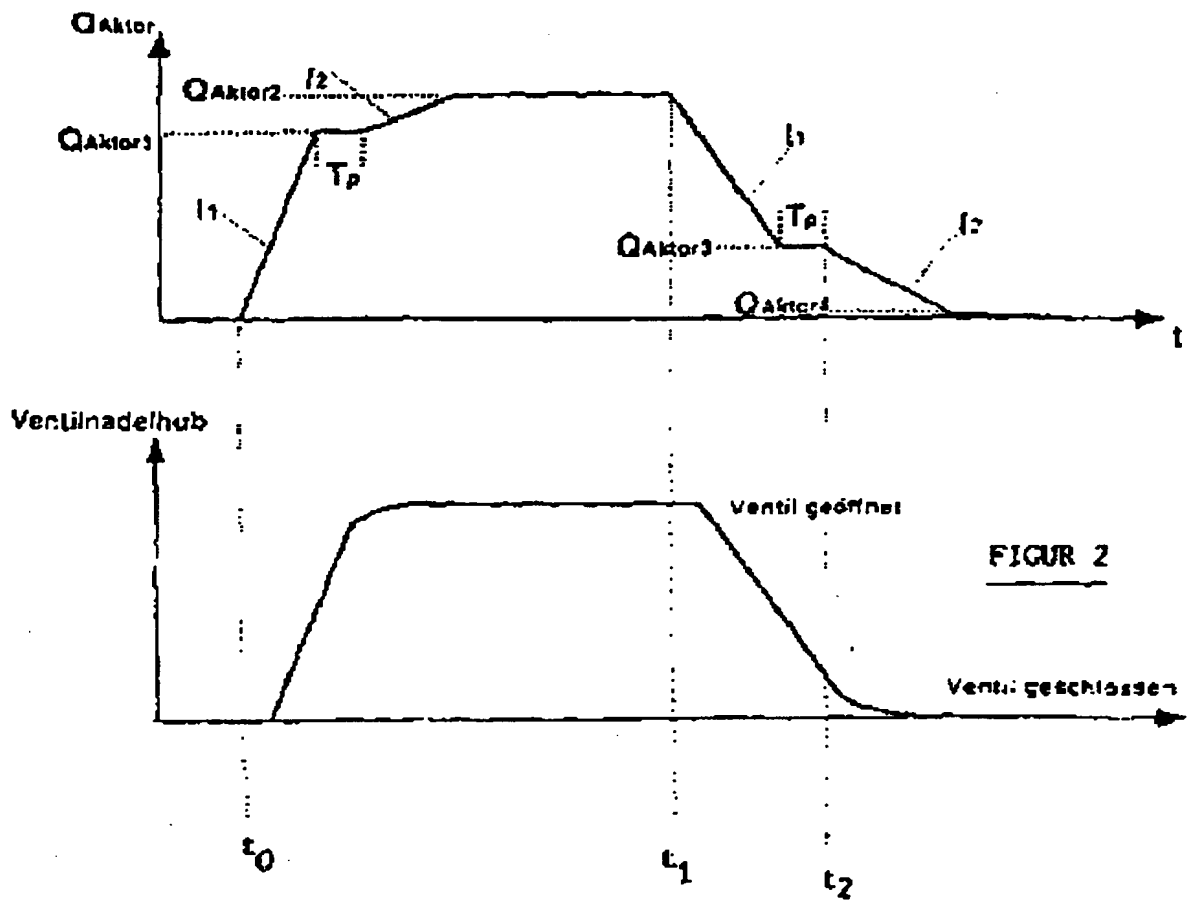


FIG. 4

AN: PAT 2001-017367  
TI: Piezoelectric actuator drive method e.g. for injection valve in motor vehicle, involves charging actuator with first and second partial charges with intervening pause, with gradient for second partial charge being lower than that for first  
PN: **DE19921456-A1**  
PD: 16.11.2000  
AB: NOVELTY - The method involves applying a first partial charge with a maximum gradient (I1) to the piezoelectric actuator when opening and closing the valve. The actuator is charged in the same direction to the final stroke with a second partial charge after a pause. The gradient (I2) for the second charge can be lower than the maximum gradient for the first charge so that no overshoot occurs for opening or closing. The residual charging phase is selected so that an aperiodic transition to the end value is approximated for the mechanical system. DETAILED DESCRIPTION - An INDEPENDENT CLAIM is also included for a circuit for implementing the method.; USE - For driving a piezoelectric actuator in an injection valves, especially a high pressure injection needle valve for a motor vehicle injection system. ADVANTAGE - Prevents overshoot when opening the valve and enables soft valve closure to prevent valve element bounce on the valve seat and the attendant wear. DESCRIPTION OF DRAWING(S) - The drawing shows a graphical representation of valve operation without overshoots gradients I1 ,I2  
PA: (BOSC ) BOSCH GMBH ROBERT;  
IN: KEIM N; REISCHL R; RUEHLE W;  
FA: **DE19921456-A1** 16.11.2000; CN1117214-C 06.08.2003; WO200068558-A1 16.11.2000; EP1179129-A1 13.02.2002; CN1349590-A 15.05.2002; JP2002544424-W 24.12.2002; EP1179129-B1 06.08.2003; DE50003196-G 11.09.2003;  
CO: AL; AT; BE; CH; CN; CY; DE; DK; EP; ES; FI; FR; GB; GR; IE; IT; JP; LI; LT; LU; LV; MC; MK; NL; PT; RO; SE; SI; WO;  
DN: CN; JP;  
DR: AT; BE; CH; CY; DE; DK; ES; FI; FR; GB; GR; IE; IT; LU; MC; NL; PT; SE; AL; LI; LT; LV; MK; RO; SI;  
IC: F02D-041/20; F02D-041/30; F02M-051/00; F02M-051/06; H01L-041/083; H02N-002/00; H02N-002/06;  
MC: V06-N07; V06-U03; X22-A02A;  
DC: Q52; Q53; V06; X22;  
FN: 2001017367.gif  
PR: DE1021456 08.05.1999;  
FP: 16.11.2000  
UP: 02.08.2005



BEST AVAILABLE COPY